

*На правах рукописи*



**ЭЛЬ ЭРИАН ФАТМА АБДАЛЛА МОХАМЕД**

**УПРАВЛЕНИЕ ЗАПАСАМИ РЕМОНТИРУЕМЫХ УЗЛОВ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ  
СТАНКОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Специальность 05.13.06**

Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами (в машиностроении)

**АВТОРЕФЕРАТ**

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Москва – 2015**

Работа выполнена на кафедре «Технологии машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН).

Научный руководитель доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (РУДН), г. Москва.  
Рогов Владимир Александрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, кафедры Технологических систем пищевых и перерабатывающих производств Тульского государственного университета, г. Тула.  
Прейс Владимир Викторович

кандидат технических наук, доцент, кафедры «Динамики процессов управления» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева (КНИТУ-КАИ).  
г. Казань.  
Сабитов Рустэм Агиевич

Ведущая организация Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков («ЭНИМС» г. Москва),

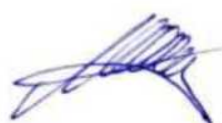
Защита состоится «02» июля 2015 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.081.31 в при ФГАОУ ВПО Казанский (Приволжский) федеральный университет по адресу: 423810, Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Мира, 13А, Набережночелнинский институт (филиал) ФГАОУ ВПО Казанского (Приволжского) федерального университета, УЛК-5, ауд.309.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского (Приволжского) федерального университета.

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 423810, Татарстан, г. Набережные Челны, пр. Мира, 68/19, диссертационный совет Д 212.081.31.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.081.31  
кандидат техн. наук, доцент



И.Р. Мавлеев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Техническое обслуживание и ремонт оборудования машиностроительного предприятия требует достаточно больших средств. В условиях морального и фактического старения механообрабатывающего парка затраты на восстановление будут только возрастать.

Задача управления запасами при ремонте металлорежущих станков всегда сопряжена с расходами материальных, трудовых и финансовых ресурсов по отдельным временным периодам и обслуживаемым объектам. В условиях рыночной экономики система технического обслуживания и ремонта металлорежущих станков, относящихся к категории сложных систем, функционирует с определенными ограничениями. Это объясняется тем, что задачи оптимизации и управления ресурсами запасами при ремонте металлорежущих станков являются структурными и многокритериальными.

Для выполнения ремонтов оборудования в Типовой системе ТОР (технического обслуживания и ремонта) устанавливаются: виды плановых ремонтов, их чередование, трудоемкость, материалоемкость; плановая продолжительность ремонтных циклов, периодичность выполнения внутрицикловых ремонтов по отработанному времени.

Система ТОР во многих случаях не обеспечивает принятие оптимальных решений. Это объясняется тем, что график ТОР строится по нормативным данным. В связи с этим возможна ситуация, когда одновременно в ремонт будет выведено достаточно большое количество единиц оборудования. И из-за ограниченности в ресурсах ремонтное производство предприятия может не справиться с выполнением всех ремонтных работ. Поэтому без учета ограничений (материальных, временных, трудовых, финансовых) на используемые ресурсы нельзя обеспечить надежную эксплуатацию оборудования при существующей системе ТОР. Одновременно многие машиностроительные предприятия, особенно небольших мощностей, в условиях многономенклатурности и рыночной неопределенности вынуждены постоянно приспосабливаться к новым условиям.

Существует два вида задач по оптимизации организационно-технических решений. В задачах первого вида заданная цель достигается в результате качественных изменений, например, применением новых технологий, что требует дополнительных финансовых и временных затрат. В задачах второго вида качественная сторона остается неизменной, но изменяются количественные показатели. В таких задачах исследуются наибольшие и наименьшие значения функций, зависящих от нескольких переменных. В нашей диссертации рассмотрено решение задачи второго вида.

**Степень разработанности.** Значительный вклад в решение проблем управления запасами внесли отечественные и зарубежные исследователи: Ахумов А.В, Беляев Ю. А, Володось И.Ф, Гаврилов Д. А, Голдобина Н. Н, Голенко Д.И, Гришина Т.Г, Громенко В. М, Зеваков А. М, Инютина К. В, Кудрявцев Б. М, Лагуткин В. М, Ледин М. И, Микитьянц С. Р, Никитина В.П, Sherbrooke С. С, Wild Т и др, однако их работы не затрагивают вопрос управления запасами ремонтируемых узлов металлорежущих станков на предприятиях машиностроения.

**Целью работы** является управление запасами ремонтируемых узлов металлорежущих станков на предприятиях машиностроения в условиях ограниченных трудовых и финансовых ресурсов.

Для решения рассмотренных выше проблем, нужно решать следующие **задачи**:

1. Разработать модель нечеткой логики, математическую и имитационную модели для моделирования запасами в ремонтном производстве.
2. Разработать модель нечеткой логики и математическую модель для оптимизации ремонтных воздействий в условиях ограниченных трудовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения.
3. Разработать модель нечеткой логики и математическую модель для оптимизации количества ремонтных единиц в условиях ограниченных трудовых и финансовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения.

**Объектом исследования** является система технического обслуживания и ремонта металлорежущих станков.

**Предметом исследования** является изучение ограничения трудовых и финансовых ресурсов на количество запасных частей ремонтных воздействий и ремонтных единиц.

**Результаты, полученные автором и выносимые на защиту:**

- Разработаны математическая, имитационная и нечеткой логики модели для управления запасными частями в условиях ограничения трудовых и финансовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения.
- Разработаны математическая и нечеткой логики модели для оптимизации количества ремонтных воздействий (РВ) в условиях ограниченных трудовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения.
- Разработаны математическая и нечеткой логики модели для оптимизации количества ремонтных единиц в условиях ограниченных финансовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения.

**Научная новизна работы состоит в:**

1. Разработке моделей нечеткой логики для:
  - управления запасами при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения;
  - оптимизации количества ремонтных воздействий (РВ) в условиях ограниченных трудовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения;
  - оптимизации количества ремонтных единиц в условиях ограниченных трудовых и финансовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения.
2. Разработке математической и имитационной моделей управления запасными частями при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения.
3. Разработке математической модели для:
  - оптимизации количества ремонтных воздействий в условиях ограниченных трудовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения ;
  - оптимизации количества ремонтных единиц в условиях ограниченных трудовых и финансовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения.

**Практическая значимость работы заключается в:**

- оптимизации складских запасов при ремонте металлорежущих станков. В любом временном интервале можно, не прибегая к сложным экономическим расчетам, устанавливать в динамическом режиме потребное количество пополняемых запасных узлов для выполнения ремонтных воздействий обслуживаемого парка металлорежущего оборудования;
- определении количества ремонтных воздействий (РВ) в условиях ограниченных трудовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения;
- определении количества ремонтных единиц в условиях ограниченных трудовых и финансовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков на предприятиях машиностроения;
- обеспечении минимизации потребных оборотных средств.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Работа соответствует формуле специальности 05.13.06 – " Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами " (в машиностроении) (технические науки) в области

«Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация», а также «Методы планирования и оптимизации отладки, сопровождения, модификации и эксплуатации задач функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включающие задачи управления качеством, финансами и персоналом» в полном соответствии с п.п. 4 и 11 области исследования паспорта специальности.

**Методы исследований.** Теоретические исследования базировались на основных положениях особенности системы TOP. Разработка модели нечеткой логики управления запасами выполняется с помощью графических средств системы *Matlab* — пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноимённый язык программирования, широко используемый в научных исследованиях и прикладных разработках.

#### **Апробация работы**

Основные результаты были представлены на следующих конференциях:

- Актуальные проблемы глобальной экономики, конференция «Материалы XVI научной конференции молодых ученых экономического факультета». Москва – 2014 г.
- Интеллектуальные системы, конференция «Труды одиннадцатого международного симпозиума», INTELS' 2014, Москва – 2014 г.
- Международная научно-практическая конференция «Технологическо-конструкторское обеспечение машиностроительных производств». Москва – 2014 г.

#### **Публикации.**

Основные положения настоящей диссертации были опубликованы в 10 работах, в том числе 4 работы в изданиях, рекомендуемых перечнем ВАК.

#### **Структура диссертации**

Диссертация содержит введение, 4 главы, заключение, список использованных библиографических источников (98 наименований). Общий объем текста диссертации 151 страницы, в него включены 38 рисунков и 33 таблицы.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность диссертации и основные направления исследований. Приведена общая характеристика работы.

**В первой главе** дан анализ существующих организационных ремонтных форм и ее конкретных нормативов, описание сути проблемы управления запасами, рассмотрена история вопроса. Значительный вклад в решение проблем управления запасами внесли отечественные и

зарубежные исследователи: Ахумов А.В, Беляев Ю. А, Володось И.Ф, Гаврилов Д. А, Голдобина Н. Н, Голенко Д.И, Гришина Т.Г, Громенко В. М, Зеваков А. М, Инютина К. В, Кудрявцев Б. М, Лагуткин В. М, Ледин М. И, Микитьянц С. Р, Никитина В.П, Sherbrooke С. С, Wild Т и др.

В главе рассмотрены современные подходы и принципы управления запасами: принцип ABC и XYZ анализа; JT- управление "точно в срок" (Just-In-Time); системы MRP "Material Requirement Planning", ERP "Enterprise Resource Planning", METRIC "Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control" и др.

Построение такой модели требует определенных допущений, например, по потокам заказов, законам распределения времени и др. Эти Модели строятся по классической схеме математического программирования.

Проанализированы математические подходы и модели, применяемые в задаче оптимизации запасов, показано, что традиционный подход к проблеме управления запасами, рассказываемый в литературе, зависит от сложных математических моделей и не может дать адекватных результатов при ремонте металлорежущих станков в соответствии с меняющимися финансовыми и трудовыми ресурсами. Так как, на процесс управления запасами в ремонтном производстве влияют многие факторы, в том числе и сложно формализуемые, такие, как вероятность надежности агрегатов (вследствие различных ресурсов наработки), минимальные оборотные средства на приобретение запасных узлов и быстроизнашиваемых деталей, продолжительность выполнения ремонтных воздействий (вытекающая из годового плана-графика ремонта технологического оборудования), наличие квалифицированных трудовых ресурсов, и т. п.

**Во второй** разработаны нечеткой логики, математическая и имитационная модели для управления количествами запасными частями при ремонте металлорежущих станков.

Для формализации разрабатываемой модели примем некоторые допущения, позволяющие упростить ее дальнейшее решение:

1. Осмотры оборудования согласно системе TOP не предусматривают использования каких - либо запасных узлов, за исключением аварийных ситуаций.
2. Комплектность запасных узлов по каждой модели металлорежущего станка обычно устанавливается укрупненно по станку- представителю в каждой группе оборудования.
3. Структура ремонтного цикла металлорежущих станков массой до 10 т согласно принятой системе TOP включает один капитальный ремонт, два средних, шесть текущих ремонтов и девять осмотров, т.е.

КР – О – ТР – О – ТР - О – СР – О – ТР – О – ТР – О – СР – О – ТР – О – ТР – О – КР.

4. Организационная форма технического обслуживания и ремонта – централизованная (Ц).
5. Объем обслуживаемого металлообрабатывающего оборудования, выраженный суммарным значением единиц ремонтной сложности.
6. Распределение обслуживаемого оборудования по группам в соответствии с утвержденными графиками ремонтных воздействий на машиностроительном предприятии.
7. Продолжительность планируемых временных периодов, обычно это – 12, 24 и 36 месяцев, в нашем случае принимаем временной период равным 12 месяцев.
8. Средний ресурс работы (Р) для станков массой до 10 тонн составляет 23000 часов.

В ряде известных работ доказано, что хорошей альтернативой классическим моделям управления запасами может служить подход, основанный на нечеткой логике. Этот подход не требует построения и решения сложных математических моделей. Он опирается на сопоставление спроса на данный вид ресурса в рассматриваемый момент времени с количеством ресурса, имеющимся на складе. В зависимости от этого формируется управляющее решение, на основании которого увеличиваются или уменьшаются соответствующие запасы.

Качество нечеткой модели управления существенно зависит от нечетких правил и функций принадлежности, описывающих нечеткие термы. Чем удачнее подобраны нечеткие правила и функции принадлежности, тем адекватнее управленческое решение.

Одним из важнейших компонентов системы управления (в нашем случае управления запасами) является база знаний, которая представляет собой совокупность нечетких правил «если – то» («if – then»), определяющих взаимосвязь между входами и выходами исследуемой системы.

Процесс применения нечеткой логики осуществляется на трех стадиях: фаззификации (fuzzification), принятия решения и дефаззификации (defuzzification). *Фаззификация (переход к нечеткости)* – на данной стадии точные значения входных переменных преобразуются в значения лингвистических переменных («термов») посредством применения некоторых положений теории нечетких множеств, а именно – при помощи определенных функций принадлежности. В процессе принятия решения используется нечеткое условие, найденное в базе данных «если – то» («if – then»), для преобразования входных данных (параметров) в требуемые управляющие воздействия. *Дефаззификация (устранение нечеткости)* – осуществляется переход от нечетких значений величин («термов») к определенным физическим параметрам, которые могут служить управляющими командами.

Разработка модели нечеткой логики выполняется с помощью графических средств системы *Matlab*.



В редакторе нечетной логики Fuzzy Logic Toolbox можно использовать три входных  $OH(t)$  по количеству поступающих запасных узлов в каждый пошаговый интервал времени,  $BO(t)$  по количеству расходуемых запасных узлов в период выполнения ремонтных воздействий,  $OP(t)$  по количеству запасных узлов в начальный момент обслуживания и один выходной  $S(t)$  параметр по уровню запасов на складе ремонтного производства в моменты времени  $t$ . Графический интерфейс редактора для этих переменных, как обобщенный пример, показан на рис. 1.

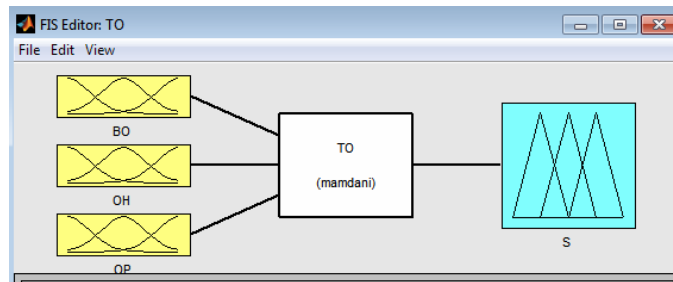


Рис. 1. Редактор GUI для входных и выходных переменных в системе нечеткого вывода.

Для решения поставленной задачи используемые в соответствии с Centroid methodom параметры представим в виде следующих лингвистических переменных.

Графические интерфейсы (GUI) лингвистических переменных ( $BO$ ), ( $OH$ ), ( $OP$ ) и ( $S$ ) показаны на рис. 2, 3, 4 и 5. Часть из правил, используемых в нечеткой системе управления запасными частями, показаны на рис. 6 и табл. 1.

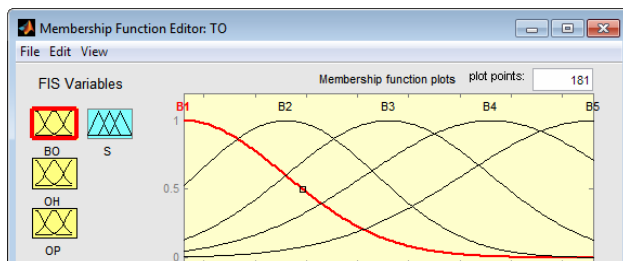


Рис. 2. Графический интерфейс (GUI) лингвистических переменных по количеству расходуемых запасных узлов в период выполнения ремонтных воздействий ( $BO$ ).

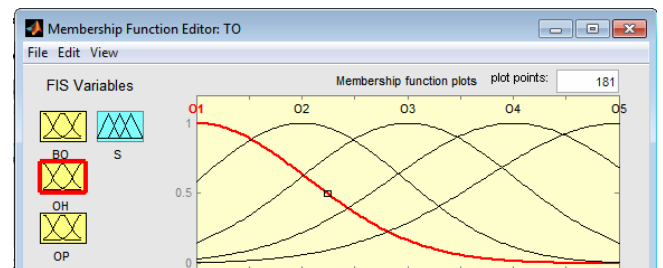


Рис. 3. Графический интерфейс (GUI) лингвистических переменных по количеству поступающих запасных узлов в каждый пошаговый интервал времени ( $OH$ ).

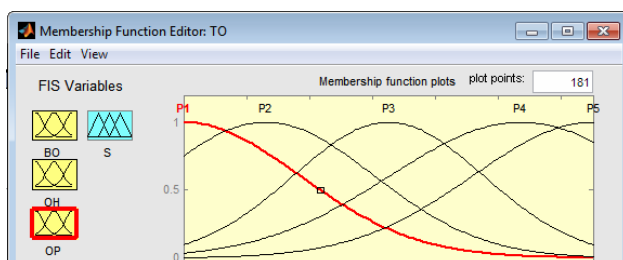


Рис. 4. Графический интерфейс (GUI) лингвистических переменных по количеству запасных узлов в начальный момент обслуживания ( $OP$ ).

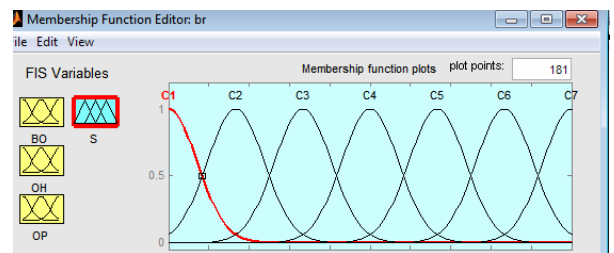


Рис. 5. Графический интерфейс (GUI) лингвистических переменных по уровню запасов на складе ремонтного производства ( $S$ ).

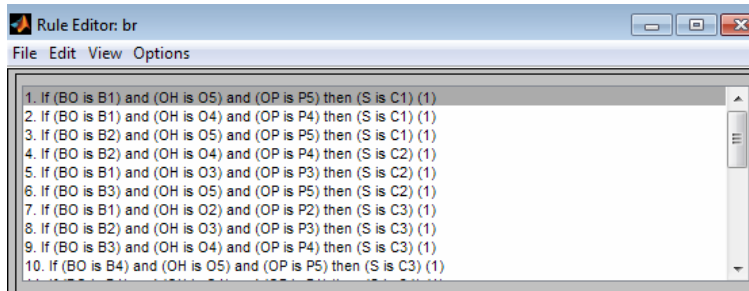


Рис. 6. Графический интерфейс (GUI) правил используемых в нечеткой логике.

Таблица 1.

Часть из правил, используемых в нечеткой системе управления запасами при обслуживании станков

Если ( if )						то ( then )	
Количество расходуемых запасных узлов в период выполнения ремонтных воздействий (ВО).		количество поступающих запасных узлов в каждый пошаговый интервал времени (ОН).		количество запасных узлов в начальный момент обслуживания (ОР).		решение по уровню запасных узлов	
B1	Очень низкая	O5	Очень высокая	P5	Очень высокая	C1	Резко уменьшить
B4	Высокая	O5	Очень высокая	P5	Очень высокая	C3	Уменьшить медленно
B2	Низкая	O2	Низкая	P2	Низкая	C4	На прежнем уровне
B3	Постоянная	O1	Очень низкая	P1	Очень низкая	C6	Увеличить уверенно

На рис. 7 показаны результаты применения вышеизложенного метода нечеткой логики для токарной группы станков. Например, если входные параметры: ВО – количество расходуемых запасных узлов в период выполнения ремонтных воздействий равно 310 и ОН – количество поступающих запасных узлов в каждый пошаговый интервал времени равно 178 и ОР – количество запасных узлов в начальный момент обслуживания равно 123, то оптимальный запас на складе ремонтного производства для токарной группы S равен 0,636. (рис. 7).

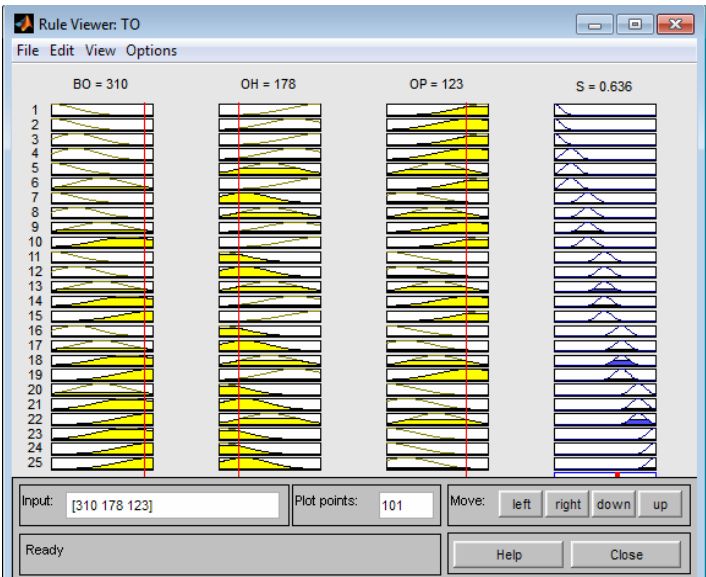
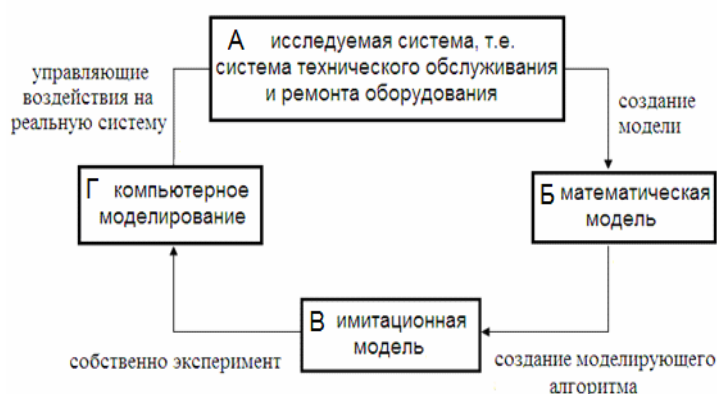


Рис.7. Пример обработки данных в интерфейсе программы Rule Viewer

### Разработка математической и имитационной моделей управления запасами.

Метод имитационного моделирования сочетает особенности экспериментального подхода и специфические условия использования вычислительной техники. Имитационное моделирование благодаря развитию информационных технологий привело к появлению нового вида компьютерного моделирования.

Используя аппарат формальной логики технологическую последовательность подготовки и выполнения имитационного моделирования представим в виде ориентированной блок-схемы (рис. 8). Отдельные блоки будут изображать фазы моделирования, а ориентированные



ребра (дуги) последовательность выполнения. В нашем случае имеем блоки :

Блок А – исследуемая система, т.е. система технического обслуживания и ремонта оборудования;

Блок Б – математическая модель;

Блок В – имитационная модель;

Блок Г – направленный вычислительный эксперимент(компьютерное моделирование).

Рис. 8. Блок-схема исследования системы технического обслуживания

#### Разработка математической модели.

При имитационном моделировании логическая структура реальной системы отображается сначала в математической модели, которая затем преобразуется в имитационную. Выполненный анализ системы технического обслуживания и ремонта, выявленная причинно - следственная связь постоянных и переменных параметров позволили установить, что достижение поставленной цели относится к задачам логистического характера. Математическую модель нахождения оптимального числа запасных узлов, обеспечивающих рациональное функционирование исследуемой системы, предлагаем выразить зависимостью (1) :

$$N_{\text{онт}}(t) = N_0(t) - N_p(t) \{ f_2(T_{\text{мр}}, T_1; R; P_{\text{вi}}) \} + N_n(t) \{ f_1(\Pi; \Sigma R; n_i; \beta_i), f_2(T_{\text{мр}}, T_1; R; P_{\text{вi}}), f_3(C, \Phi, C_3) \}; \quad (1)$$

где  $N_0(t)$  - объем запасных узлов в начальный момент обслуживания;

- $N_p(t)$  - объем расходуемых запасных узлов в период выполнения ремонтных воздействий ;
- $N_n(t)$  - объем поступающих запасных узлов в каждый пошаговый интервал времени;
- $T_1$  - пошаговый интервал изменения системного времени, равный продолжительности межремонтного периода  $T_{mr}$ ;
- $f_1$  - функционал постоянных параметров исследуемой системы;
- $f_2$  - функционал переменных параметров, характеризующий объемы и виды выполняемых ремонтных воздействий в заданный временной период обслуживания;
- $f_3$  - функционал переменных параметров, характеризующий суммарную балансовую стоимость обслуживаемого оборудования, оборотные фонды ремонтного производства, стоимость запасных узлов на планируемый период по группам станков и видам ремонтных воздействий.

Особенности технического обслуживания и ремонта металлорежущих станков показывают, что для разработки имитационной модели необходимо использовать основные положения теории массового обслуживания (СМО). Методы теории массового обслуживания позволяют расчетным путем оптимизировать совместную работу ремонтной службы машиностроительного предприятия и организации-поставщика запасных узлов. Результативный анализ СМО аналитическими методами довольно затруднительная процедура, в то время как такой анализ методами имитационного моделирования с использованием современных информационных технологий не представляет особой сложности.

Границы системы, в нашем случае, определяются пределами основных цехов, эксплуатирующих оборудование, ремонтно-механическим цехом машиностроительного завода и поставщиками запасных частей, количество которых заранее определено. Структурные связи между элементами выражаются отправкой в ремонт согласно графику МС, ремонт их в ремонтно-механическом цехе и возвращением в эксплуатирующие цехи. Взаимосвязь с внешней средой состоит в поставке запасных узлов по результатам дефектации предприятиями – поставщиками, исходя из имеющихся финансовых ресурсов машиностроительного предприятия. Характер детализации процесса зависит от видов выполняемых ремонтных воздействий, трудоемкости и сроков выполнения. Принимаем централизованную структуру технического обслуживания МС, как наиболее сложную структуру, охватывающую все виды ремонтов. В случае использования децентрализованной системы обслуживания моделирование за счет уменьшения элементов системы существенно упростится. Все вводимые переменные имеют дискретный характер, что облегчает процесс исследования.

Имитационная модель системы массового обслуживания (СМО) для наших условий будет характеризоваться как многофазная, многоканальная (три канала обслуживания – для

капитальных, средних и текущих ремонтов), с несколькими неоднородными потоками заявок (ремонт МС различных моделей), с очередями ограниченной емкости (ограничениями по трудовым ресурсам) на всех стадиях обслуживания (рис. 9).

- $\Pi_1 \dots \Pi_i$  - цехи основного производства, эксплуатирующие МС;  
 $C_{1.1} \dots C_{in}$  - источники потока заявок: МС  $i$ -того цеха с инвентарным заводским номером  $n$ ;  
 $D_1 \dots D_i$  - участки приемки и дефектации поступающих на ремонт МС;  
 $K_{кр}, K_{ср}, K_{тр}$  - каналы обслуживания: специализированные посты (участки) по выполнению капитального, среднего и текущего ремонта, соответственно, определенной емкости;  
 $ЗУ_{кр}, ЗУ_{ср}$  - запасные узлы и детали, запрашиваемые для выполнения ремонтных работ, по результатам дефектации;  
 $ЗУ_{тр}$  - результаты дефектации;  
 $T_1 \dots T_i$  - транспортировка (возвращение) отремонтированных МС в соответствующие цехи основного производства.

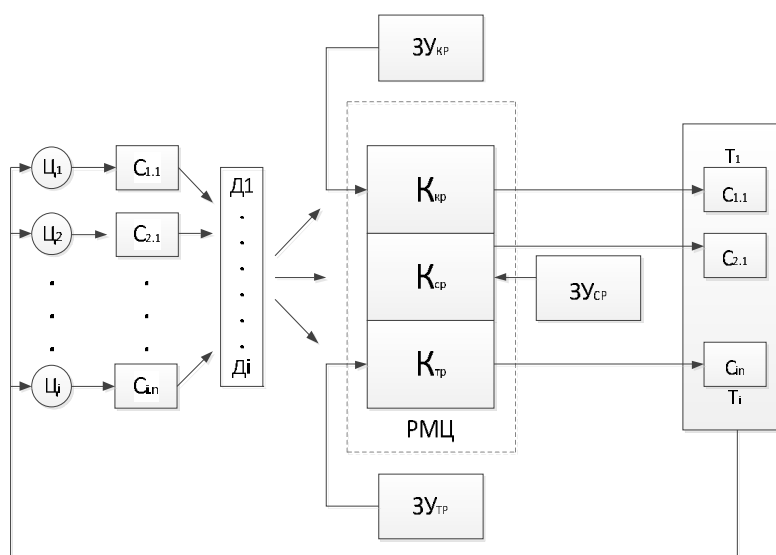


Рис. 9. Алгоритм имитационной модели СМО

В имитационных моделях предусматриваются модули реакции на изменение параметров выполняемых событий в потоках. Каждый поток исходя из функционального назначения обслуживается модулями реакции. В процессе моделирования таймер модельного времени должен корректироваться в соответствии с событиями, возникающими в реальной системе. Для этого имитационная модель СМО будет иметь следующие модули реакции:

- модуль реакции (Е)- на поступление заявок - учитывает соответствие поступающих МС плану-графику ремонта, а также возможные отклонения: аварийные ремонты, непредвиденные организационные помехи основного производства и т. п.;
- модуль реакции (D)- на результаты дефектации МС в виде заявки на наличие необходимых запасных узлов и деталей. Установление имеющихся запасных узлов на складе и приобретение недостающих;
- модуль реакции (G)- на невозможность приобретения необходимых запасных узлов ввиду их

отсутствия у поставщика или недостаточного финансирования;  
 модуль реакции (R)- на ограниченность временных и трудовых ресурсов;  
 модуль реакции (S)- на освобождение или занятость каналов (специализированных ремонтных постов);

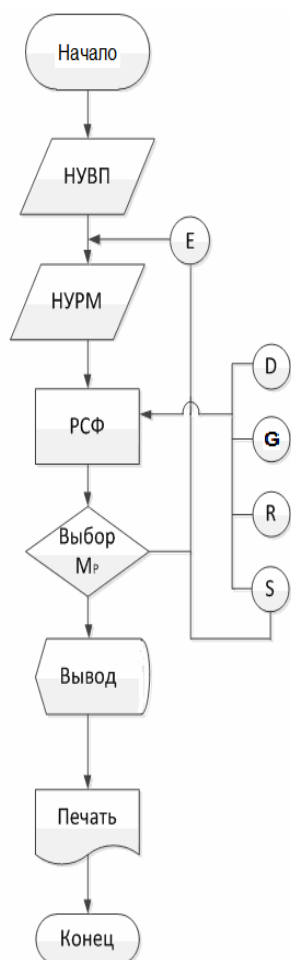


Рис. 10. СМО применительно  
к исследуемой системе  
технического обслуживания МС

Алгоритм имитационной модели СМО показан на рис. 10. Разработанный алгоритм обладает дискретностью (основное свойство), определенностью и однозначностью. Структура алгоритма определяется способом продвижения модельного времени по событиям.

Блок 1 – введение начальных условий на весь процесс моделирования (НУВП). Вводятся временной период (как правило, год) выполнения ремонтных воздействий, указываются число источников заявок, число каналов.

Блок 2 – вводятся начальные условия на реализацию модели (НУРМ) на планируемый временной период (квартал). Текущее время, счетчики числа поступивших и обслуженных заявок устанавливаются на нуль. Каналы обслуживания и очереди к ним устанавливаются в исходные состояния

Блок 3 – реализуют события по фазам и времени (РСФ).

Блок 4 – выбор модуля реакции (E ,D ,G ,R ,S) и передача управляющих воздействий соответствующей фазе блока 3 через модули реакции.

**В третьей главе** разработаны нечеткой логики и математическая модели для оптимизации количества ремонтных воздействий в условиях ограниченных трудовых ресурсов при ремонте металлорежущих станков методами нечеткой логики.

С использованием подхода нечеткой логики, мы постараемся оптимизировать ремонтные воздействия в условиях ограниченных трудовых ресурсов с учетом влияния факторов трудоемкости ремонта, годового фонда рабочего времени, структуры ремонтных воздействий. В зависимости от этого формируется управляющее решение.

В редакторе нечеткой логики Fuzzy Logic Toolbox можно использовать три входных параметра: трудоемкость ремонта обслуживаемого парка оборудования  $HT(t)$  и годовой фонд рабочего времени  $FB(t)$  и три выходных параметра: количество выполненных капитальных ремонтов  $KP(t)$ , количество выполненных средних ремонтов  $CP(t)$ , количество выполненных текущих ремонтов  $TP(t)$ , в заданном временном периоде (t). Графический интерфейс редактора для вводимых переменных показан на рис. 11.

Часть из правил, используемых в нечеткой системе оптимизации ремонтных воздействий в условиях ограниченных трудовых ресурсов, показаны на рис. 12 и табл. 2.

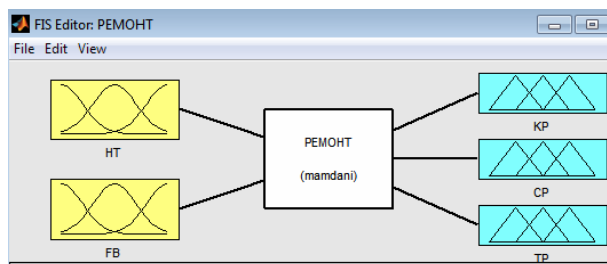


Рис. 11. Редактор GUI для входных и выходных переменных в системе нечеткого вывода.

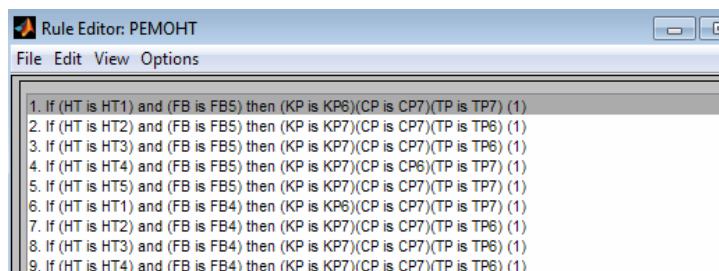


Рис. 12. Графический интерфейс (GUI) правил, используемых в нечеткой системе оптимизации ремонтных воздействий в условиях ограниченных трудовых ресурсов

Таблица 2.

Часть из правил, используемых в нечеткой системе ремонтных воздействий в условиях ограниченных трудовых ресурсов

Если ( if )		...to ( - then )		
трудоемкость ремонта (HT)	Годовой фонд рабочего времени (FB).	Количество ремонтов в заданные временные периоде t		
		При капитальном ремонте (KP)	При Среднем ремонте (CP)	при текущем ремонте (TP)
(HT1) очень низкая	(FB5) очень высокий	(KP7) очень высокое	(CP7) очень высокое	(TP7) очень высокое
(HT2) низкая	(FB5) очень высокий	(KP7) очень высокое	(CP7) очень высокое	(TP7) очень высокое
(HT3) средняя	(FB5) очень высокий	(KP7) очень высокое	(CP7) очень высокое	(TP7) очень высокое
(HT4) высокая	(FB5) очень высокий	(KP7) очень высокое	(CP7) очень высокое	(TP7) очень высокое

На рис. 13 показаны результаты применения вышеизложенного метода нечеткой логики. Например, если входные параметры:  $HT(t)$  – равна 29990 и  $FB(t)$  – равен 28300, то количество ремонтов при капитальном ремонте  $KP(t)$ , среднем ремонте  $CP(t)$ , текущем ремонте  $TP(t)$  равно 15, 30 и 90,9.

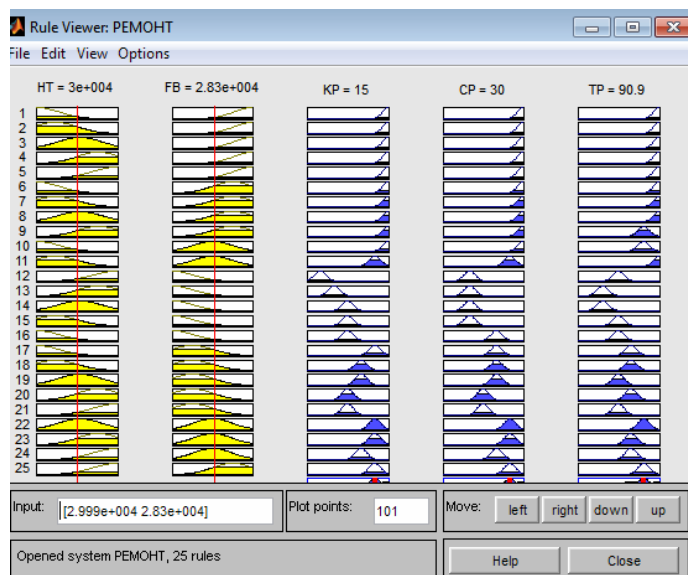


Рис.13. Пример обработки данных в интерфейсе программы Rule Viewer

### Разработка математической модели для оптимизации количества ремонтных воздействий в условиях ограниченных трудовых ресурсов.

Математическая модель нахождения оптимального числа ремонтных воздействий, обеспечивающих рациональное функционирование исследуемой системы выражается зависимостью:

$$N_{PB}(t)\{f_1(n_i, C_n)\} = \frac{\phi(t)\{f_2(\mathcal{U}, \varphi)\}}{T(t)\{f_3(R_{icn}, r)\}}; \quad (2)$$

где  $N_{PB}(t)$  - количество РВ исходя из ограничений трудовых ресурсов в период выполнения ремонтных воздействий;

$\phi(t)$  - годовой фонд рабочего времени в период выполнения ремонтных воздействий;

$T(t)$  - Суммарная трудоемкость ремонта в каждый пошаговый интервал времени;

$t$  - пошаговый интервал изменения системного времени, равный продолжительности межремонтного периода  $T_{мр}$ ;

$f_1$  - функционал постоянных параметров исследуемой системы;

$f_2$  - функционал переменных параметров, характеризующий число рабочих и фонд времени каждого рабочего, выполняемых ремонтных воздействий в заданный временной период обслуживания;

$f_3$  - функционал переменных параметров, характеризующий суммарную трудоемкость при капитальном ремонте, среднем ремонте и текущем ремонте;

$R_{icn}$  - категория ремонтной сложности станка;

$C_n$  - срок службы каждого станка;

$\mathcal{U}$  - число рабочих;



$\varphi$  - годовой фонд времени работы каждого рабочего;

Для определения количества РВ капитальных  $N_{PBK}(t)$ , средних  $N_{PBC}(t)$  и текущих  $N_{PBT}(t)$  ремонтов можно выражаться зависимостями (3), (4) и (5).

$$N_{PBK}(t) = \frac{\phi(t)}{T_K(t) + 2T_C(t) + 6T_T(t)}; \quad (3)$$

$$N_{PBC}(t) = 2N_{PBK}(t); \quad (4)$$

$$N_{PBT}(t) = 6N_{PBK}(t). \quad (5)$$

где  $T_K$  – норма трудоемкости при капитальном ремонте;

$T_C$  – норма трудоемкости при среднем ремонте;

$T_T$  – норма трудоемкости при текущем ремонте.

### Достоверность результатов моделирования

Для выполнения указанных РВ по нормативам трудоемкости (табл.3), при получении 0% запасных частей со специализированных заводов потребуется 31512 ч. Имеются следующие ограничения по трудовым ресурсам. Техническое обслуживание производится двумя бригадами ремонтных рабочих в одну смену с максимальным годовым фондом рабочего времени, равным 32064 ч. Но состав бригады меняется в зависимости от наличия трудовых ресурсов на момент выполнения ремонтных воздействий (отпуск, временная нетрудоспособность и т.п.). При определении количества РВ, годовой фонд рабочего времени принят равным 28056, временной период – один год.

Количество РВ исходя из ограничений трудовых ресурсов при применении нечеткой логики и математической модели сведено в табл. 3.

Таблица 3.

Количество РВ исходя из ограничений трудовых ресурсов при применении нечеткой логики и математической модели

Виды ремонтов	Количество ремонтов по структуре ремонтного цикла (табл.3.1)	Необходимый годовой фонд рабочего времени, ч	Доступный годовой фонд рабочего времени, ч	Количество ремонтов исходя из ограничений трудовых		Расчетный годовой фонд рабочего времени, ч	
				при применении нечеткой логики	при применении математической модели	при применении нечеткой логики	При применении математической модели
КР	16	31512	28056	14	14,24	27912,3	28050,84
СР	32			28	28,49		
ТР	96			86,9	85,47		

Результаты применения модели нечеткой логики для решения поставленных задач исследования обеспечивает достоверность получаемых результатов.

В четвертой главе разработаны модель нечеткой логики и математическая модель для оптимизации количества ремонтных единиц в условиях ограниченных финансовых и трудовых ресурсов.

В редакторе нечеткой логики Fuzzy Logic Toolbox можно использовать три входных параметра: трудоемкость ремонта, обслуживаемого парка оборудования  $HT(t)$ , годовой фонд рабочего времени  $FB(t)$  и годовой объем финансирования ремонтных работ  $OF(t)$  и три выходных параметра: количество ремонтных единиц при капитальном ремонте  $KK(t)$ , количество ремонтных единиц при среднем ремонте  $KC(t)$ , количество ремонтных единиц при текущем ремонте  $KT(t)$ , в заданном временном периоде  $t$ . Графический интерфейс редактора для вводимых переменных показан на рис.14.

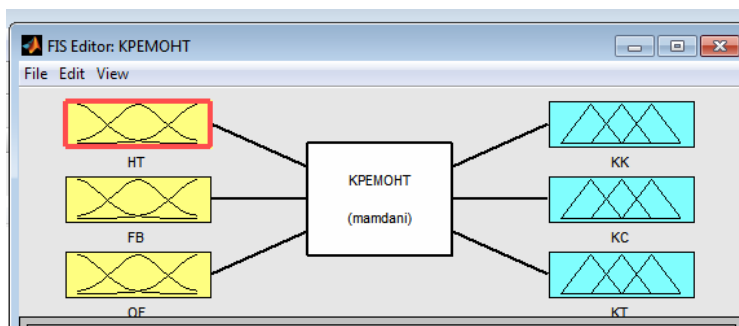


Рис.14. Редактор GUI для входных и выходных переменных в системе нечеткого вывода.

Результаты применения вышеизложенного метода нечеткой логики показаны на рис. 15. Например, если входные параметры:  $HT$  – трудоемкость ремонта равна 29510 (ч),  $FB$  – годовой фонд рабочего времени равен 28100(ч) и  $OF$  – годовой объем финансирования ремонтных работ равен 25700000 (тыс. руб.), то количество ремонтных единиц при капитальном ремонте  $KK$ , при среднем ремонте  $KC$  и при текущем ремонте  $KT$  равно 210, 368, 1080.

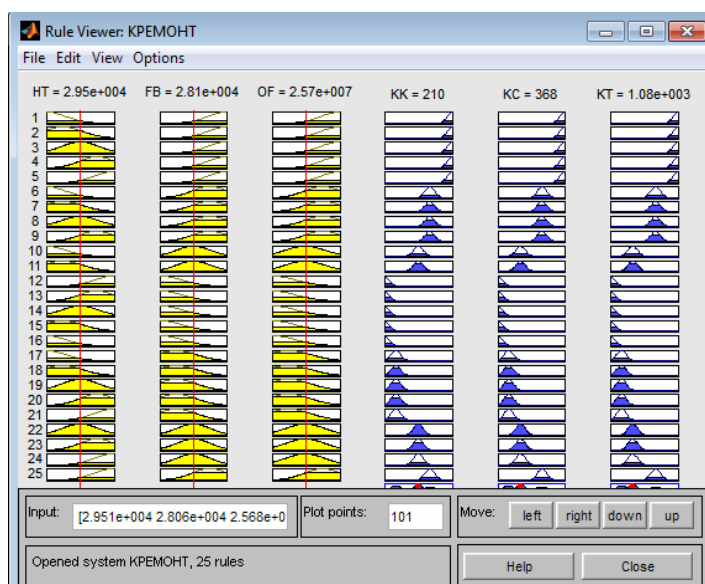


Рис.15. Пример обработки данных в интерфейсе программы Rule Viewer

### Разработка математической модели для оптимизации количества ремонтных единиц в условиях ограниченных финансовых и трудовых ресурсов.

Математическая модель нахождения оптимального количества ремонтных единиц, обеспечивающих рациональное функционирование исследуемой системы, выражается зависимостями (2-5) и (6):

$$N_E(t) \{f_5(N_{PB}(t), R_{icn})\} = \frac{\Phi(t)}{C(t) \{f_6(C_K, C_C, C_T)\}} \quad (6)$$

где  $\Phi(t)$  – годовой объем финансирования ремонтных работ в заданном временном периоде  $t$ ;

$f_5$  – функционал постоянных и переменных параметров исследуемой системы;

$f_6$  – функционал постоянных параметров исследуемой системы;

$N_E(t)$  – количество ремонтных единиц исходя из ограничений финансовых ресурсов в заданном временном периоде  $t$ ;

$C_K(t)$  – ориентировочная стоимость ремонта металлорежущих станков, на одну ремонтную единицу при капитальном ремонте в заданном временном периоде  $t$ ;

$C_C(t)$  – ориентировочная стоимость ремонта металлорежущих станков, на одну ремонтную единицу при среднем ремонте в заданном временном периоде  $t$ ;

$C_T(t)$  – ориентировочная стоимость ремонта металлорежущих станков, на одну ремонтную единицу при текущем ремонте в заданном временном периоде  $t$ .

Для определения количества ремонтных единиц капитальных  $N_{EK}(t)$ , средних  $N_{EC}(t)$  и текущих  $N_{ET}(t)$  ремонтов, исходя из ограничений исследуемой системы выражается зависимостями (7), (8), (9).

$$N_{EK}(t) = N_{PBK}(t) \times R_{icn} = \frac{\Phi(t)}{C_K(t) + 2C_C(t) + 6C_T(t)} \quad (7)$$

$$N_{EC}(t) = N_{PBC}(t) \times R_{icn} = 2N_{PBK}(t) \times R_{icn} = 2 \times \frac{\Phi(t)}{C_K(t) + 2C_C(t) + 6C_T(t)} \quad (8)$$

$$N_{ET}(t) = N_{PBT}(t) \times R_{icn} = 6N_{PBK}(t) \times R_{icn} = 6 \times \frac{\Phi(t)}{C_K(t) + 2C_C(t) + 6C_T(t)} \quad (9)$$

Имеются следующие ограничения по трудовым и финансовым ресурсам для определения количества ремонтных единиц (табл.4). Трудоемкость ремонта принята равной 28600, годовой фонд рабочего времени принят равным 28500 ч, годовой объем финансирования ремонтных работ принят равным 28000000 рубл., временной период – один год.

Количество ремонтных единиц, исходя из ограничений ресурсов при применении нечеткой логики и математической модели сведено в табл. 4.

**Количество ремонтных единиц исходя из ограничений ресурсов при применении нечеткой логики и математической модели**

Виды ремонт-ов	Количество ремонтных единиц по структуре ремонтного цикла и нормативам трудоемкости (табл.4.4)	Требуемый годовой объем финансирования ремонтных работ, руб.	Доступный годовой объем финансирования ремонтных работ, руб.	Количество ремонтных единиц исходя из ограничений финансовых		Расчетный годовой объем финансирования ремонтных работ, руб.	
				При применении нечеткой логики	при применении математической модели	при применении нечеткой логики	при применении математической модели
КР	240	31152000	28000000	220	215,7	28031450	2799860
СР	480			423	431,4		
ТР	1440			1260	1294,3		

### **Выводы**

1. В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача, заключающаяся в управлении запасами ремонтируемых узлов металлорежущих станков на предприятиях машиностроения с помощью применения метода нечеткой логики.
2. Применение метода нечеткой логики в управлении запасами запасных частей в ремонтном производстве позволяет в оперативной форме оптимизировать складские запасы
3. при ремонте металлорежущих станков. В любом временном интервале можно, не прибегая к сложным экономическим расчетам, устанавливать в динамическом режиме потребное количество пополняемых запасных узлов для выполнения ремонтных воздействий обслуживаемого парка металлорежущего оборудования. При этом обеспечивается минимизация потребных оборотных средств.
4. Предлагаемая методика нечеткой логики позволяет выбирать оптимальную структуру ремонтных воздействий (РВ) при ограниченных ресурсах. С использованием разработанной модели нечеткой логики для оптимизации количества ремонтных воздействий появляется возможность давать инженерную прогнозную оценку функционирования ремонтных предприятий в изменяющихся рыночных условиях.
5. Предлагаемая методика нечеткой логики позволяет адаптировать ремонтные системы предприятий к требованиям финансовых и рыночных условий (изменять количество ремонтных единиц и всю структуру ремонтных воздействий).
6. Применение нечеткой логики для решения поставленных задач исследования не требует построения и решения сложных математических моделей и дает хорошие результаты в короткий промежуток времени.

### **Основные публикации по теме диссертации**

В научно-технических журналах из перечня ВАК

1. Фатма Абдалла Эль Эриан. Разработка модели нечеткой логики для управления запасами деталей при ремонте металлорежущих станков // Москва. Вестник РУДН № 3, 2014, С. 78-86.
2. Эль Эриан Ф. А. Выбор организационных форм и расчет нормативов ремонтных воздействий металлорежущих станков // Ремонт, восстановление, модернизация. 2014. № 7. С. 38-43.
3. Эль Эриан Ф. А. Моделирование запасами в ремонтном производстве методами нечеткой логики /Расторгуев Г.А. // Ремонт, восстановление, модернизация. 2014. № 9. С. 34-40.
4. Эль Эриан Ф. А. Оптимизация ремонтных воздействий в условиях ограниченных трудовых ресурсов методами нечеткой логики./Расторгуев Г.А. // Ремонт, восстановление, модернизация. 2015. № 2. С. 37-42.

#### В других изданиях

1. Rastorguev G. A, Elerian F.A. Spare parts management for the repair of machine tools using fuzzy logic approach, Mansoura Engineering Journal (MEJ), Faculty of Engineering Mansoura University, Egypt, Vol. 39, No. 2, 2014. pp 1-8.
2. Эль Эриан Ф. А. Подход нечеткой логики для управления запасами в ремонтном производстве // Актуальные проблемы глобальной экономики конференция «Материалы XVI научной конференции молодых ученых экономического факультета». Москва – 2014 г. С. 169– 172.
3. Эль Эриан Ф. А. Управление запасами при ремонте металлорежущих станков методами нечеткой логики /Расторгуев Г.А.// Интеллектуальные системы конференция «труды одиннадцатого международного симпозиума», INTELS' 2014, Москва – 2014 г. С. 214– 216.
4. Эль Эриан Ф. А. Оптимизация количества ремонтных единиц в ремонтном производстве методами нечеткой логики // Международная научно-практическая конференция «Технологическо-конструкторское обеспечение машиностроительных производств». Москва – 2014 г. С. 16– 17.
5. Эль Эриан Ф. А. Разработка математической модели для оптимизации ремонтных воздействий в условиях ограниченных трудовых ресурсов // Международная научно-практическая конференция «Технологическо-конструкторское обеспечение машиностроительных производств». Москва – 2014 г. С. 17– 18.
6. Эль Эриан Ф. А. Разработка нечеткой логики модели для определения ремонтных воздействий в ремонтном производстве // Международная научно-практическая конференция «Технологическо-конструкторское обеспечение машиностроительных производств». Москва – 2014 г. С. 18– 19.